Surveillance environnementale des pulvérisations
aériennes d'insecticides contre la
tordeuse des bourgeons de l'épinette
au Québec, en 1985

Comportement du *Bacillus thuringiensis* en milieu lotique à l'extérieur des aires traitées

Renaud Dostie, tech. de la faune
Guy Parent, tech. de la faune
Sylvie Delisle, tech. de la faune
Pierre-Martin Marotte, biologiste

Ministère de l'Energie et des Ressources
Direction de la Conservation

Service des études environnementales

Gilles Gaboury, biol.
Chef du Service (par intérim)

Division des études et du suivi

Pierre-Martin Marotte, biol.
Responsable

Québec, le 9 avril 1986

88-00501/

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier les personnes qui ont effectué l'échantillonnage à chaque rivière, soit mesdames Aurèle Mainville (Darmouth) et Marie Richard (Causapscal) ainsi que messieurs Richard Adams (St-Jean), Gilles Bruneau (Montmorency), Gérard Gallant (Assemetquagan et Matapédia), Daniel Harrisson (Ouelle), André Hins (Rimouski) et Antonio Routhier (Milnikek). Ce travail comprenait la récolte, la conservation et l'expédition des échantillons au laboratoire.

Nous voulons aussi souligner le travail du laboratoire de microbiologie du ministère de l'Energie et des Ressources. Les analyses ont été supervisées par mesdames Pierrette Cardinal et Céline Blanchette.

Nos remerciements s'adressent également à messieurs Denis Labrie, Pierre Petitclerc et Gilles Rioux pour la planimétrie et l'historique des superficies traitées sur chaque bassin versant.

RESUME

En 1985, dans le cadre du suivi environnemental des programmes de pulvérisations aériennes d'insecticides contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette (Choristoneura fumiferana, Clem.), le ministère de l'Energie et des Ressources a évalué la dérive de l'insecticide biologique (Bacillus thuringiensis, var. kurstaki) par voie hydrographique. Neuf rivières ont été échantillonnées journalièrement pendant toute la durée du programme de pulvérisations. La récolte s'est ensuite espacée pour se terminer 4 mois après la fin des traitements. Le nombre d'échantillons prélevés dans chaque rivière a varié de 18 à 30 pour un total de 214. Ces cours d'eau ont été sélectionnés en raison de l'importance des pulvérisations sur leur bassin versant. A la fin des traitements, le pourcentage des superficies traitées par rapport à la superficie de chaque bassin versant variait de 6,0 à 62,0%.

Des concentrations de B.t. variant de 150 à 860 U.F.C./l ont été retrouvées dans huit des neuf échantillons récoltés avant le début des pulvérisations. Ces résultats confirment la persistance du B.t. une année après les traitements. Les concentrations maximales détectées à chaque rivière ont varié de 18 X 10^4 à 250 X 10^4 U.F.C./l. Seulement 10% des échantillons ont révélé des valeurs supérieures à 10 X 10^4 U.F.C./l. A l'exception d'un échantillon, toutes ces concentrations sont observées dans un délai de 2,3 jours après une pulvérisation. Par la suite, on observe une diminution rapide des résidus. Après 15 jours, à une exception près, les valeurs sont inférieures à 1 X 10^4 U.F.C./l. Quatre mois après les opérations, les concentrations varient de non détectées (<100 U.F.C./l) à 0,13 X 10^4 U.F.C./l.

Les concentrations élevées sont plus fréquemment observées lorsque les traitements sont importants sur le bassin versant. Ainsi les traitements effectués sur moins de 3% de la superficie d'un bassin versant ont peu influencé les concentrations; elles sont toutes inférieures à 5×10^4 U.F.C./l. Suite à des traitements sur plus de 3% de la superficie du bassin, 80% des échantillons ont révélé des concentrations supérieures à 5×10^4 U.F.C./l. De même, la distance entre la superficie traitée et la station de récolte a influencé les concentrations dans l'eau des rivières. Suite aux pulvérisations effectuées à moins de 30 km de nos stations, 75% des échantillons ont des concentrations supérieures à 10×10^4 U.F.C./l. Notons qu'à des distances supérieures à 30 km, un seul des huit échantillons avait une concentration plus élevée que 10×10^4 U.F.C./l.

ABSTRACT

In 1985, within the environmental monitoring of the aerial insecticide spraying program against spruce budworm (Choristoneura fumiferana Clem.), the ministère de l'Energie et des Ressources du Québec evaluated the drift of the biological insecticide (Bacillus thuringiensis var. Kurstaki) in running waters. Nine rivers were sampled every day throughout the spraying program. Then, the sampling became less frequent and ended four months after the spraying operations. The number of samples collected in each river varied from 18 to 30 for a total of 214. The rivers were chosen because of the importance of the sprayings on their watershed. After the treatments the proportion of the treated areas in relation to the size of each watershed varied from 6.0 to 6.2%.

Concentrations of B.t. from 150 to 860 C.F.U./l were found in eight of the nine samples collected before the sprayings. These results confirm that B.t. persist one year after the treatment. Maximum concentrations detected in each river varied from 18 X 10^4 to 250 X 10^4 C.F.U./l. Only 10% of the samples showed concentrations higher than 10 X 10^4 C.F.U./l. Except for one sample, all the maximums were observed after a period of 2.3 days following the spraying. Afterwards, the residues decreased quickly. After 15 days, save for one sample, the concentrations were below 1.0 X 10^4 C.F.U./l. Four months after the operations, concentrations varied from undetected (< 100 C.F.U./l) to 0.13 X 10^4 C.F.U./l.

High concentrations were more frequently observed with the increase of treatments on the watershed. Thus, treatments representing less than 3% of the watershed area have a small influence on the concentrations which are all lower than 5×10^4 C.F.U./l. Following spraying representing more than 3% of the treated watershed, 80% of the samples showed concentrations higher than 5×10^4 C.F.U./l. The distance between the treated area and the sampling site also influenced the concentrations found in the rivers. Following spraying at less than 30 km of the sampling sites, 75% of the samples had concentrations higher than 10×10^4 C.F.U./l. Note that at more than 30 km, only one of the height samples had concentration higher than 10×10^4 C.F.U./l.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS..... iii

RESUME..... v

ABSTRACT..... vii

TABLE DES MATIERES..... ix

LISTE DES TABLEAUX..... x

LISTE DES FIGURES..... xi

1. INTRODUCTION..... 1

2. DESCRIPTION DU PROGRAMME DE PULVERISATIONS..... 3

2.1 Territoire..... 3
2.2 Appareils et produits..... 3

3. DESCRIPTION DU PROGRAMME D'ECHANTILLONNAGE..... 15

4. METHODOLOGIE..... 17

4.1 Méthodologie d'échantillonnage..... 17
4.2 Méthodologie d'analyse..... 17

5. RESULTATS ET DISCUSSION..... 19

5.1 Etude de la variation inter et intra-échantillon..... 19
5.2 Variations temporelles dans l'eau des rivières..... 22

ANNEXE

1. Figures illustrant la variation des concentrations de B.t. dans l'eau et les traitements réalisés en 1985 sur le bassin versant de chaque rivière..... 31

BIBLIOGRAPHIE..... 43

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1: Caractéristiques physiques des rivières échantillonnées en 1985..... 16

TABLEAU 2: Variations des concentrations intra et inter-échantillon..... 21

TABLEAU 3: Concentrations de B.t. détectées dans l'eau avant (pré) et après (maximales) les pulvérisations en 1985..... 23

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1: Station d'échantillonnage et aires traitées sur le bassin versant de la rivière Assemetquagan en 1985..... 5

FIGURE 2: Station d'échantillonnage et aires traitées sur le bassin versant de la rivière Causapscal en 1985..... 6

FIGURE 3: Station d'échantillonnage et aires traitées sur le bassin versant de la rivière Darmouth en 1985..... 7

FIGURE 4: Station d'échantillonnage et aires traitées sur le bassin versant de la rivière Matapédia en 1985..... 8

FIGURE 5: Station d'échantillonnage et aires traitées sur le bassin versant de la rivière Milnikek en 1985..... 9

FIGURE 6: Station d'échantillonnage et aire traitée sur le bassin versant de la rivière Montmorency en 1985..... 10

FIGURE 7: Station d'échantillonnage et aires traitées sur le bassin versant de la rivière Ouelle en 1985..... 11

FIGURE 8: Station d'échantillonnage et aires traitées sur le bassin versant de la rivière Rimouski en 1985..... 12

FIGURE 9: Station d'échantillonnage et aires traitées sur le bassin versant de la rivière St-Jean en 1985..... 13

FIGURE 10: Concentration de B.t. observées dans les rivières en fonction des délais d'échantillonnage..... 25

FIGURE 11: Pics de B.t. observés en fonction du pourcentage de la superficie traitée..... 27

FIGURE 12: Pics de B.t. observés en fonction de la distance entre les superficies traitées et les stations d'échantillonnage..... 28

LISTE DES FIGURES

ANNEXE 1

FIGURE 1.1: Variation des concentrations de B.t. dans l'eau et traitements réalisés en 1985 sur le bassin versant de la rivière Assemetquagan..... 33

FIGURE 1.2: Variation des concentrations de B.t. dans l'eau et traitements réalisés en 1985 sur le bassin versant de la rivière Causapscal..... 34

FIGURE 1.3: Variation des concentrations de B.t. dans l'eau et traitements réalisés en 1985 sur le bassin versant de la rivière Darmouth..... 35

FIGURE 1.4: Variation des concentrations de B.t. dans l'eau et traitements réalisés en 1985 sur le bassin versant de la rivière Matapédia..... 36

FIGURE 1.5: Variation des concentrations de B.t. dans l'eau et traitements réalisés en 1985 sur le bassin versant de la rivière Milnikek..... 37

FIGURE 1.6: Variation des concentrations de B.t. dans l'eau et traitements réalisés en 1985 sur le bassin versant de la rivière Montmorency..... 38

FIGURE 1.7: Variation des concentrations de B.t. dans l'eau et traitements réalisés en 1985 sur le bassin versant de la rivière Ouelle..... 39

FIGURE 1.8: Variation des concentrations de B.t. dans l'eau et traitements réalisés en 1985 sur le bassin versant de la rivière Rimouski..... 40

FIGURE 1.9: Variation des concentrations de B.t. dans l'eau et traitements réalisés en 1985 sur le bassin versant de la rivière St-Jean..... 41

1. INTRODUCTION

Le ministère de l'Energie et des Ressources (MER) a réalisé du 3 juin au 5 juillet 1985, son 16e programme d'épandages aériens d'insecticides en vue de réduire les dommages causés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* Clem.).

Ce programme de pulvérisations impliquait une plus grande utilisation de l'insecticide biologique (*Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*). Dans le cadre de ces traitements, le Ministère a entrepris d'étudier le comportement du *B.t.* dans l'eau de rivières importantes dont une partie du bassin versant était traitée. Par le passé, des études similaires concernant l'insecticide chimique ont déjà été réalisées au Québec, mais aucune avec le *B.t.*

Cette étude a aussi comme objectif de vérifier la présence de *B.t.* plusieurs mois après la fin des pulvérisations.

2. DESCRIPTION DU PROGRAMME DE PULVERISATIONS

2.1 Territoire

Le programme de pulvérisations 1985 du Ministère a couvert une superficie de 667 418 hectares répartis dans les régions de la Côte-Nord, du Saguenay-Lac-St-Jean, de Québec, du Bas St-Laurent et de la Gaspésie. De cette superficie, 72% a été traitée à l'insecticide biologique et 28% à l'insecticide chimique. Parallèlement à ce programme, le Service canadien des forêts (SCF) a effectué des pulvérisations de B.t. sur 31 000 hectares de forêts privées situées dans les régions du Bas St-Laurent et de la Gaspésie. Les figures 1 à 9 présentent les superficies traitées sur chaque bassin versant des neuf rivières échantillonnées.

2.2 Appareils et produits

Les pulvérisations effectuées par le MER ont été réalisées au moyen d'avions quadrimoteurs de types DC-6, DC-4 et L-749, ainsi que par des avions monomoteurs de types Turbo Thrush et Bull Thrush. Le système de pulvérisation des quadrimoteurs était constitué d'une rampe munie de gicleurs ouverts alors que les monomoteurs étaient équipés de pulvérisateurs Mini Micronair AU-5000^{MD}. Un système de navigation par inertie de Litton (INS-51) assurait le guidage des quadrimoteurs, tandis que pour les monomoteurs, la navigation se faisait de façon visuelle avec l'aide d'un avion pointeur.

Des avions monomoteurs de type Grumman AgCat munis de système conventionnels de pulvérisation (tuyères et gicleurs Teejet Flat 8004) ont procédé à l'épandage sur les forêts privées. Le guidage des avions se faisait au moyen de ballons gonflés à l'hélium ou à l'aide d'un avion pointeur. À l'occasion, on a aussi fait appel à ces deux procédés en même temps.

Un insecticide chimique, le fénitrothion, et plusieurs préparations d'insecticides à base de Bacillus thuringiensis, ont été utilisés au cours de ce programme. Les préparations commerciales de B.t. appliquées de façon opérationnelle sont le Novabac 3^{MD} et le Thuricide 48 LV^{MD}. Ceux-ci sont les seuls insecticides ayant été appliqués sur les bassins hydrographiques des neuf rivières échantillonnées. Notons enfin que chaque secteur n'a reçu qu'une seule application d'insecticide biologique.

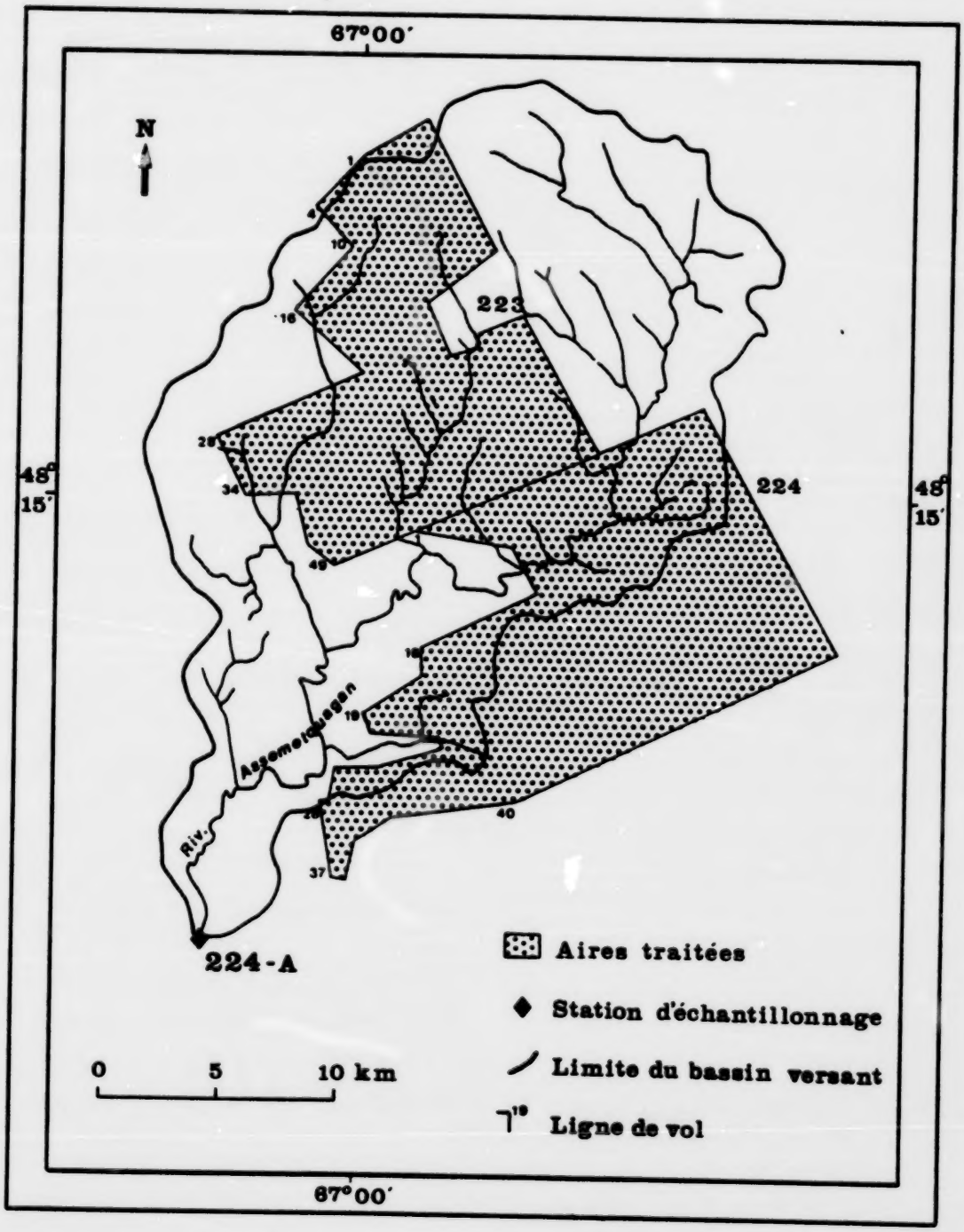

Figure 1: Station d'échantillonnage et aires traitées sur le bassin versant de la rivière Assemetquagan en 1985

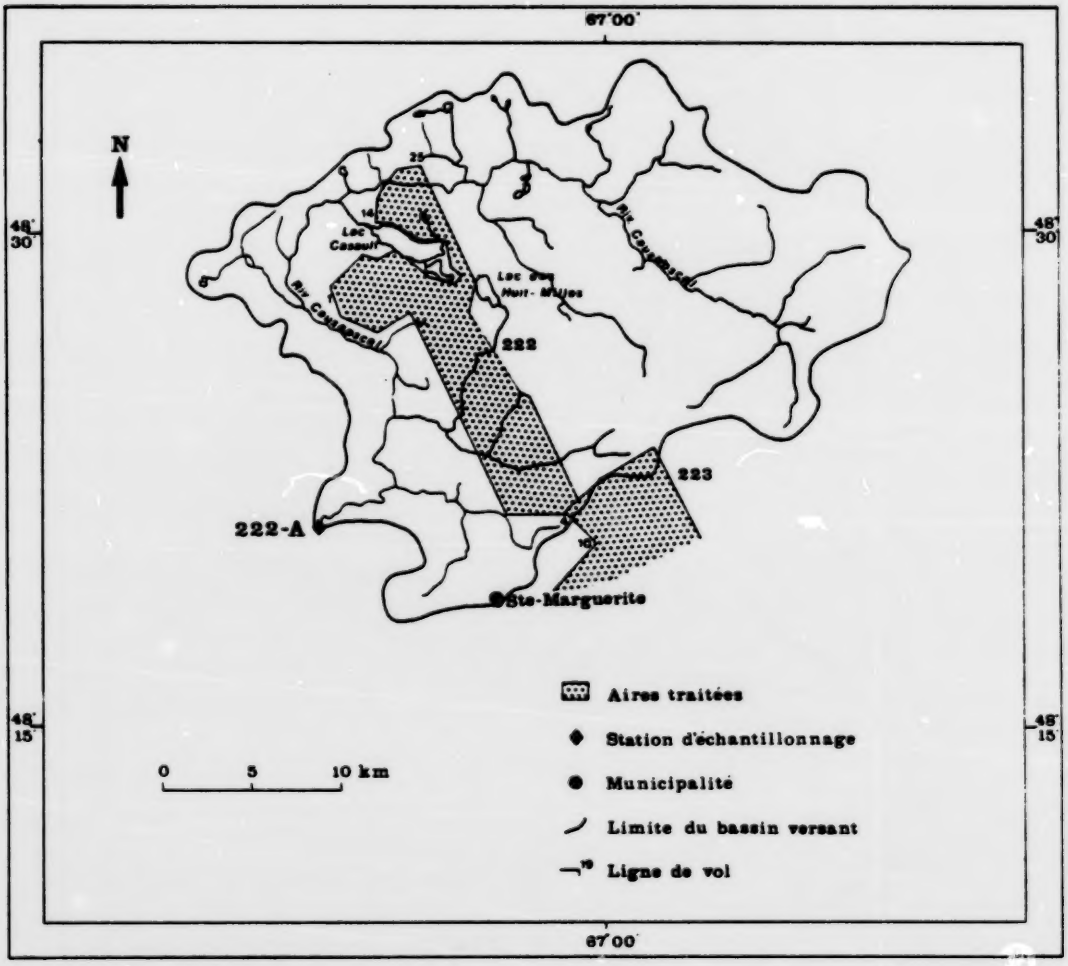

Figure 2: Station d'échantillonnage et aires traitées sur le bassin versant de la rivière Causapscal en 1985

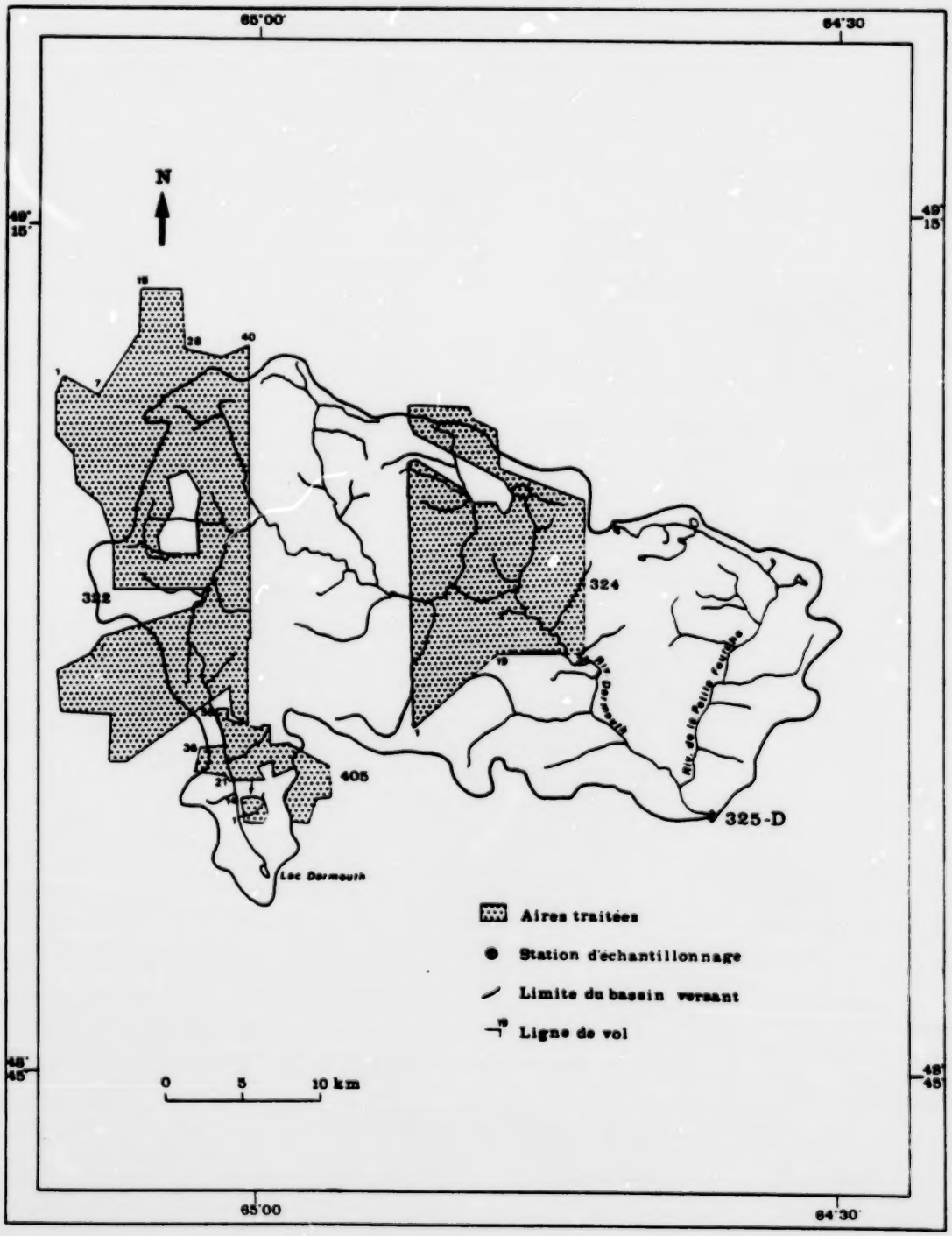

Figure 3: Station d'échantillonnage et aires traitées sur le bassin versant de la rivière Darmouth en 1985

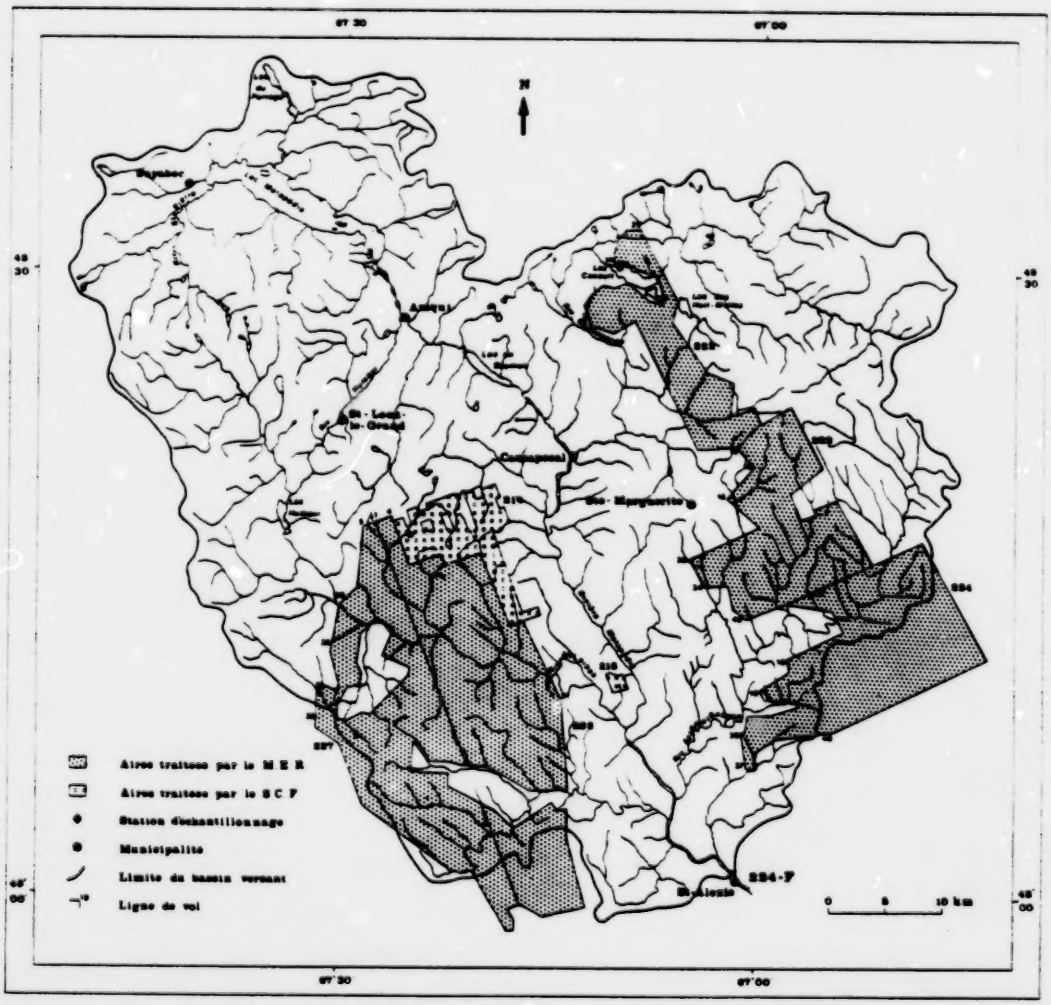

Figure 4: Station d'échantillonnage et aires traitées sur le bassin versant de la rivière Matapédia en 1985

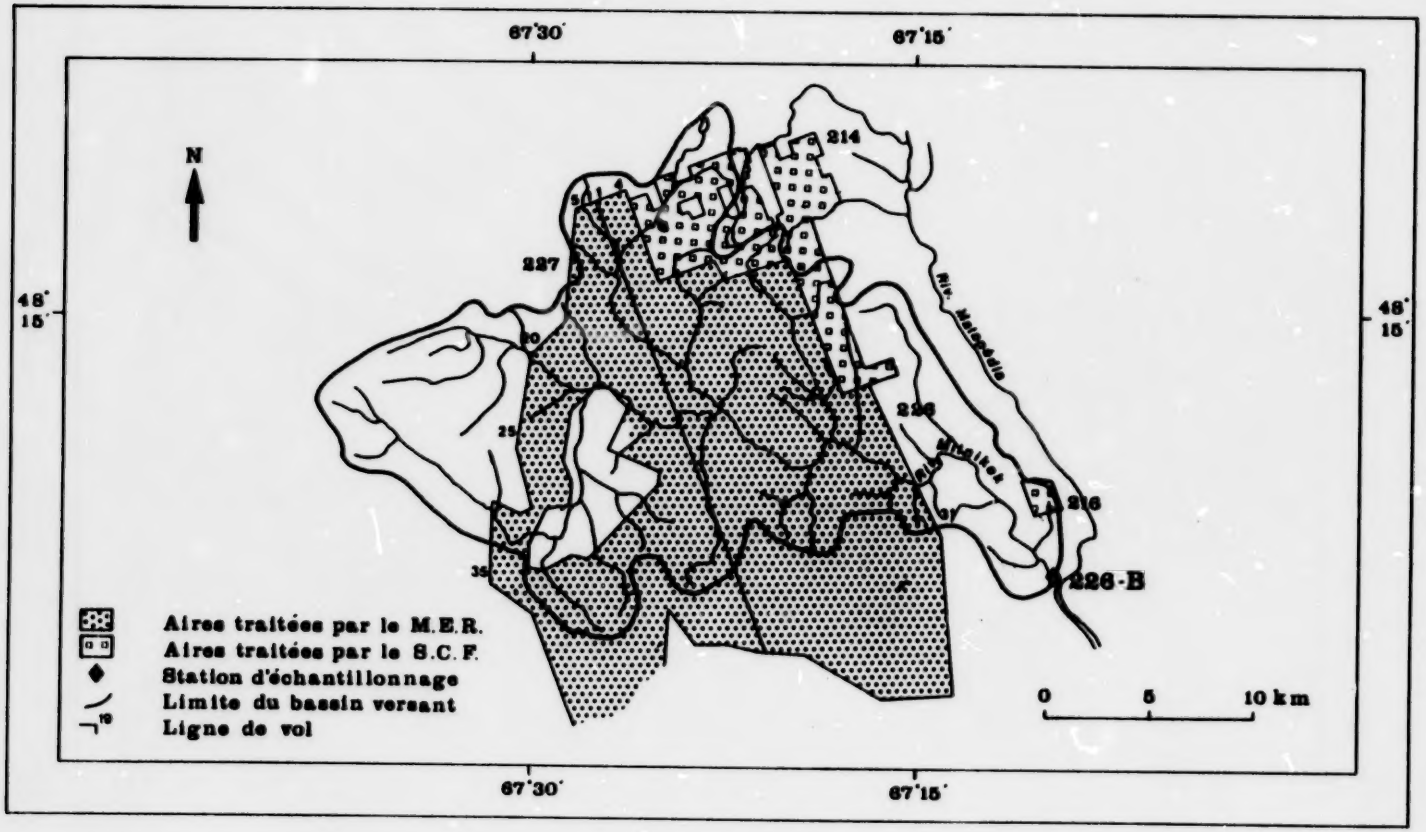

Figure 5: Station d'échantillonnage et aires traitées sur le bassin versant de la rivière Milnikek en 1985

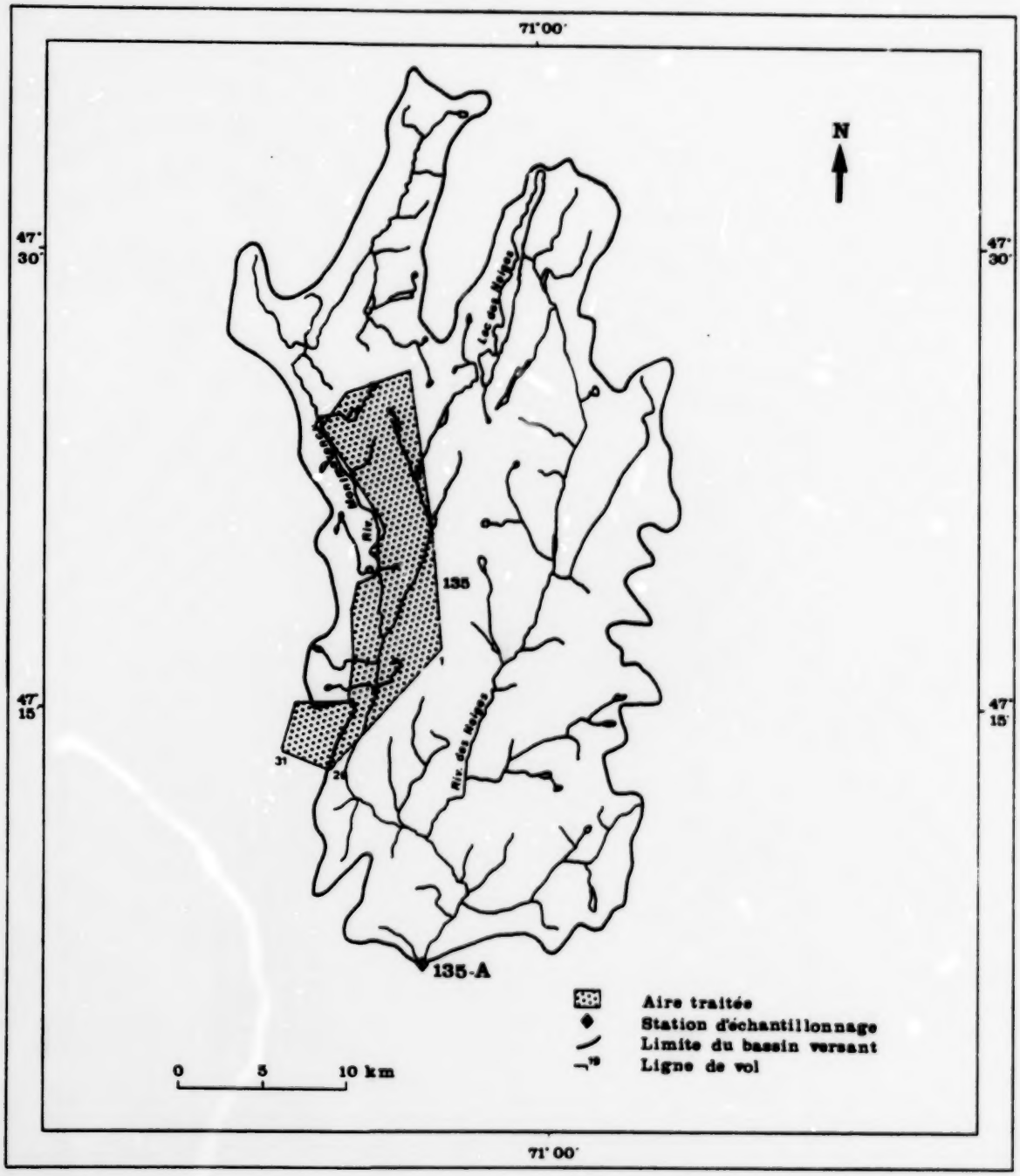

Figure 6: Station d'échantillonnage et aire traitée sur le bassin versant de la rivière Montmorency en 1985

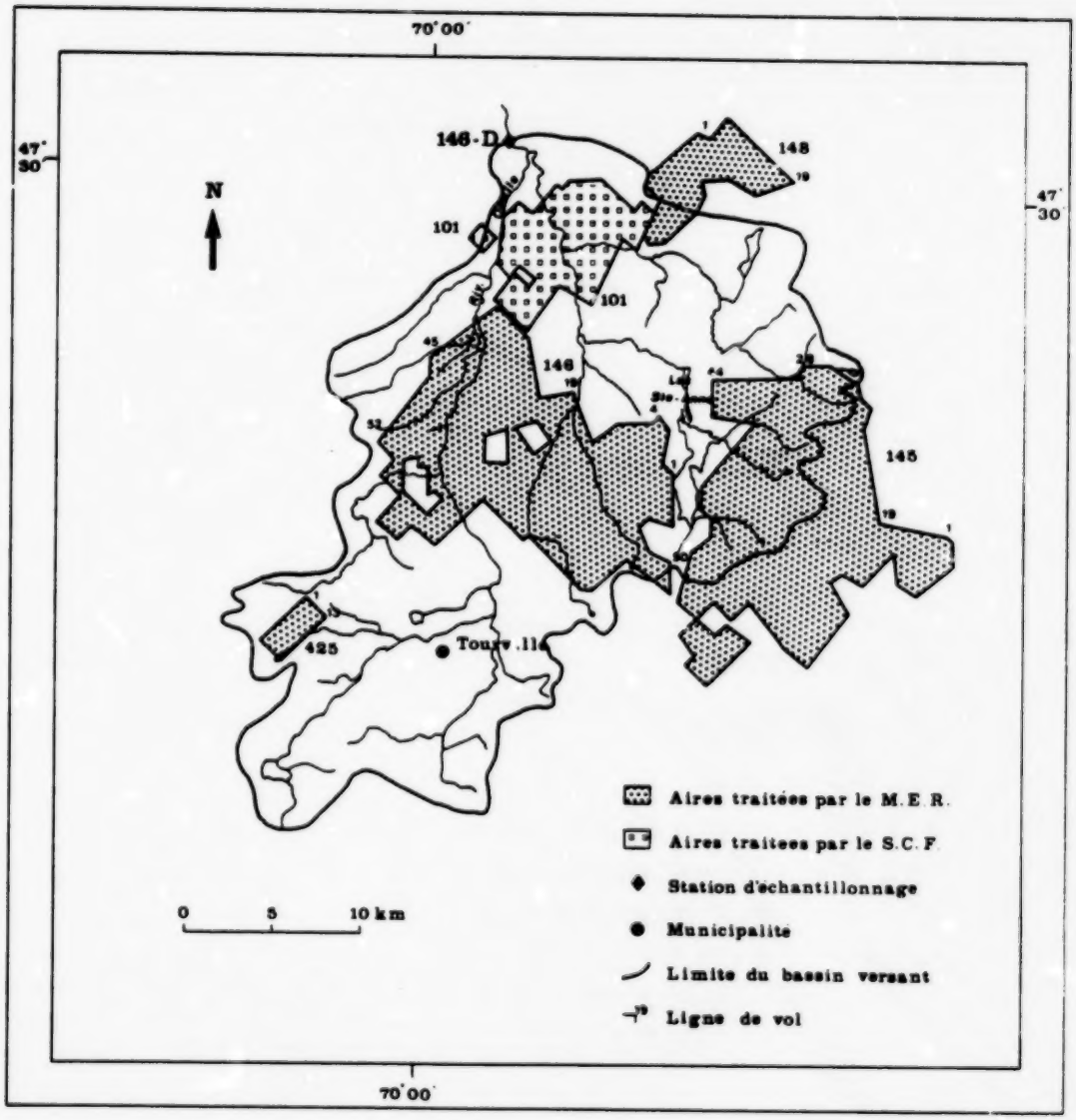

Figure 7: Station d'échantillonnage et aires traitées sur le bassin versant de la rivière Ouelle en 1985

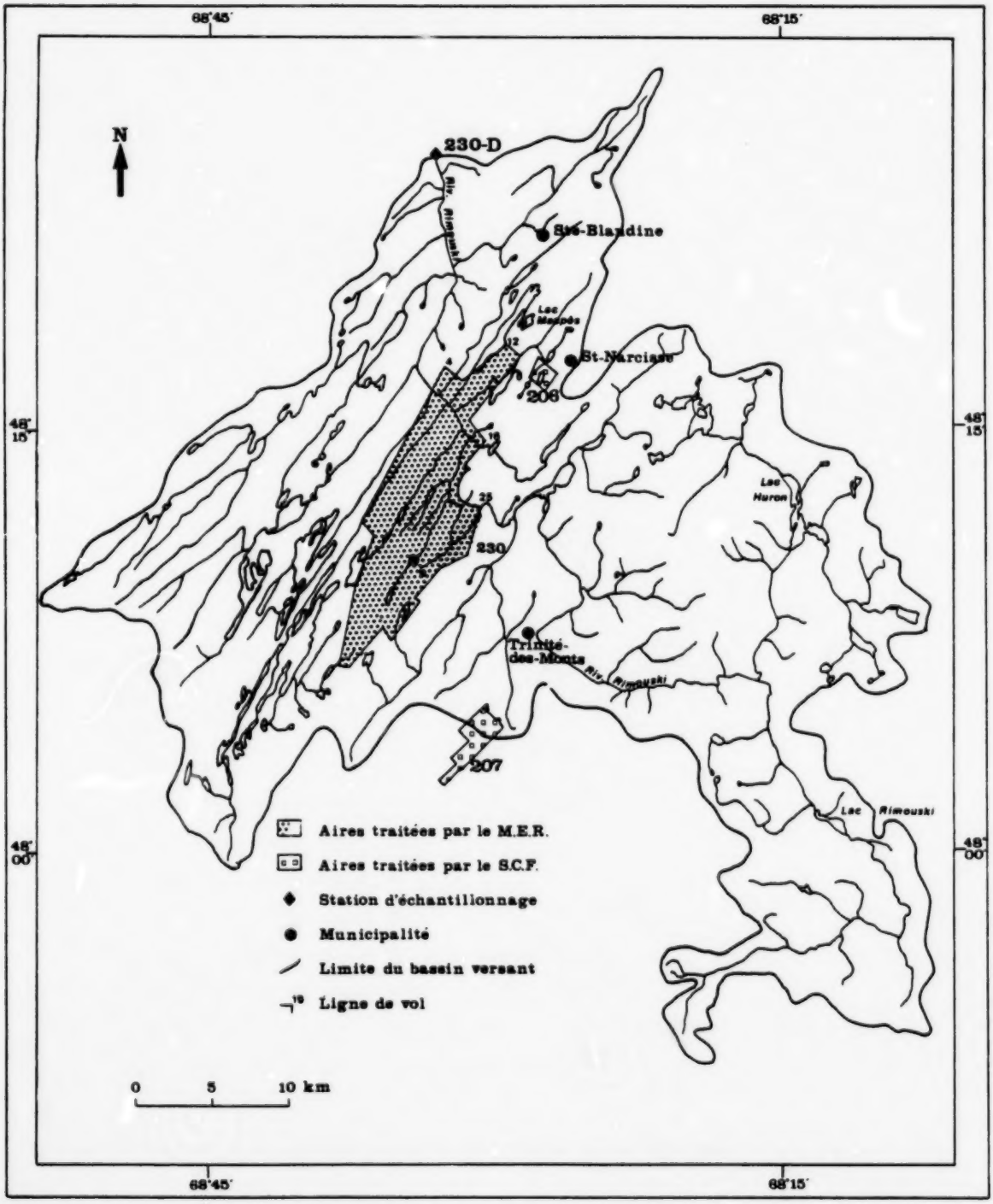

Figure 8: Station d'échantillonnage et aires traitées sur le bassin versant de la rivière Rimouski en 1985

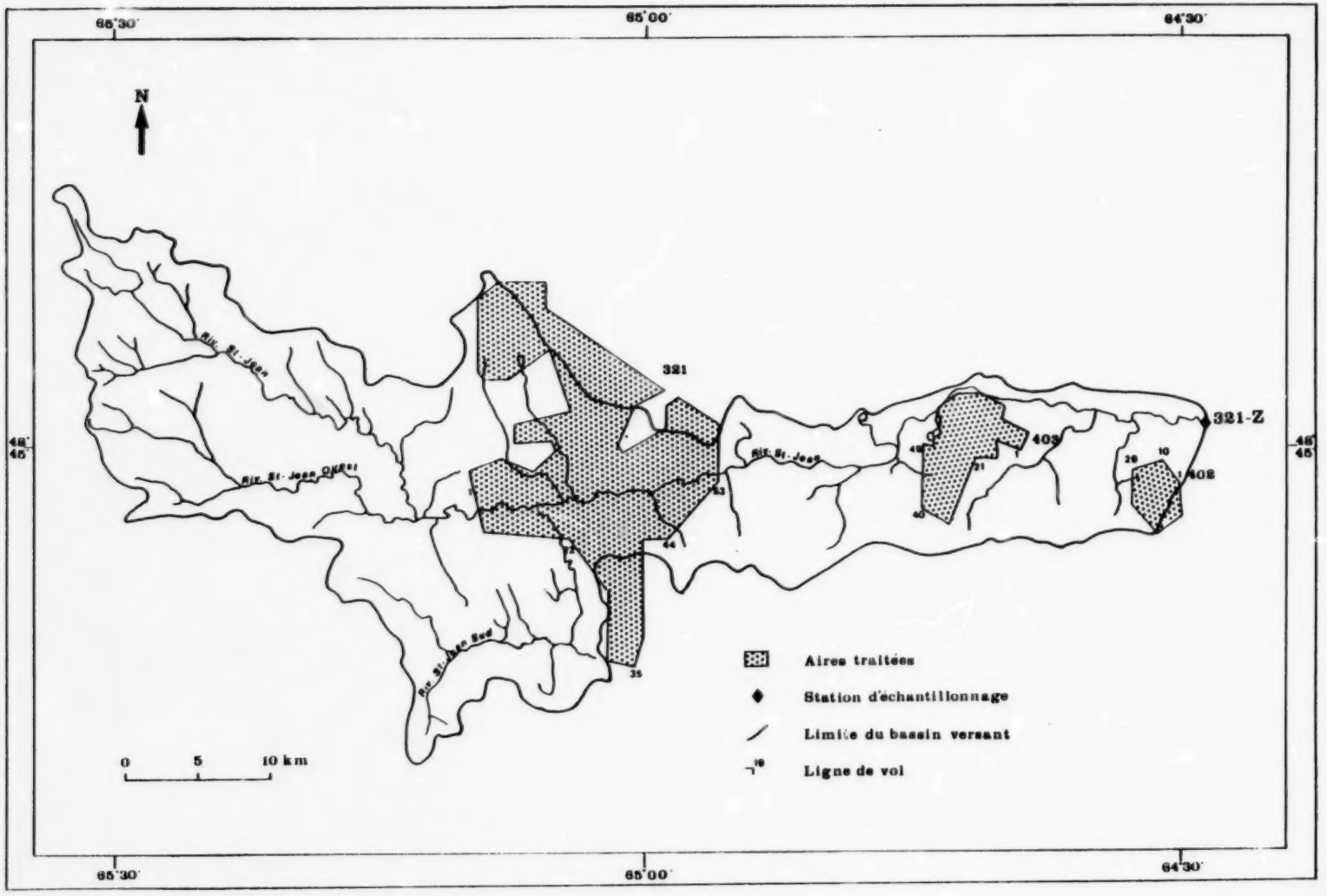

Figure 9: Station d'échantillonnage et aires traitées sur le bassin versant de la rivière St-Jean en 1985

3. DESCRIPTION DU PROGRAMME D'ECHANTILLONNAGE

Sur l'ensemble du territoire, neuf rivières ont été échantillonnées journalièrement pendant toute la durée du programme de pulvérisations. L'échantillonnage s'est ensuite espacé pour se terminer définitivement à la fin d'octobre. Avant le début du programme d'opérations, un échantillon avait été récolté à chaque station. Le nombre d'échantillons prélevés dans chaque rivière varie de 18 à 30 pour un total de 214.

Cette étude porte sur le suivi des rivières Assemetquagan, Causapscal, Darmouth, Matapédia, Montmorency, Ouelle, Rimouski et St-Jean. Ces cours d'eau ont été sélectionnés en fonction de l'importance des pulvérisations sur leur bassin versant. La superficie des bassins versants en amont des stations varie entre 40 000 et 374 000 hectares (Tableau 1). Par ailleurs, la distance minimale entre les stations et les secteurs traités s'échelonne entre 4 et 19 km. Notons qu'à la fin des pulvérisations, le pourcentage des superficies traitées par rapport à la superficie du bassin versant variait de 6,0 à 62,0%.

TABLEAU 1: Caractéristiques physiques des rivières échantillonnées en 1985

Rivière	Superficie du bassin versant (ha)	% superficie traitée	Distance ([1]) minimale p/r bloc (km)
Assemetquagan	56 000	36,8	19
Causapscal	71 000	11,8	18
Darmouth	94 000	30,0	17
Matapédia	374 000	19,6	14
Milnikek	40 000	62,0	4
Montmorency	81 000	10,4	18
Ouelle	74 000	34,0	5
Rimouski	155 000	6,0	17
St-Jean	111 000	16,6	6

([1]) Distance minimale par voie hydrographique entre l'aire traitée et la station d'échantillonnage

4. METHODOLOGIE

4.1 Méthodologie d'échantillonnage

Pour récolter un échantillon d'eau, on utilise deux bouteilles en polypropylène de type Boston^{MD} (946 ml). Les prélèvements sont effectués à partir d'un pont. Une première bouteille est fixée sur un support métallique préalablement nettoyé à l'alcool. À l'aide d'un câble, le dispositif est descendu jusqu'à ce que le goulot de la bouteille soit enfoncée sous la surface. La bouteille est retirée immédiatement, puis elle est enfoncée de nouveau à plusieurs reprises (8 à 12) jusqu'à ce qu'elle soit pleine. Une fois remontée, le niveau de l'eau est ajusté à la quantité requise (900 ml). Les deux bouteilles sont prélevées suivant la même méthode. Grâce à celle-ci, l'échantillon est composé de plusieurs fractions et est représentatif d'un plus grand tronçon de rivière.

Par la suite, les bouteilles sont déposées dans un sac de plastique et congélées jusqu'à leur analyse.

4.2 Méthodologie d'analyse

L'analyse microbiologique a été réalisée au laboratoire du ministère de l'Energie et des Ressources selon les méthodes écrites par Cardinal (1985). Lors du décompte de spores viables en laboratoire, celles-ci apparaissent sur leur

milieu de culture sous forme de colonies. Etant donné qu'une seule colonie peut provenir d'une ou d'un amas de spores, les concentrations de B.t. sont donc exprimées en nombre d'unités formant des colonies par litre (U.F.C./l).

5. RESULTATS ET DISCUSSION

5.1 Etude de la variation intra et inter-échantillon

Le premier objectif de cette étude était de quantifier la variation des résultats à l'intérieur d'une bouteille et entre deux bouteilles d'un même échantillon. Cette vérification a été justifiée par les différences observées dans les résultats lors de reprises d'analyses en laboratoire. Cette étude permettait de vérifier la variation imputable aux méthodologies d'analyse et d'échantillonnage. A cette fin, 16 échantillons comprenant deux bouteilles ont été analysés. Le contenu d'une bouteille de chaque échantillon fut séparé en deux pour obtenir deux résultats. Précisons que lors de la récolte d'un échantillon, la deuxième bouteille est prélevée immédiatement après la première.

Nous avons constaté une faible variation des concentrations entre les deux analyses effectuées dans la même bouteille. La variation est plus élevée entre deux bouteilles du même échantillon. La différence maximale à l'intérieur de la même bouteille a atteint 32% et 83% entre deux bouteilles récoltées après un même délai (TABLEAU 2). Suite à ces résultats nous avons voulu connaître si ces variations sont significatives. Nous avons utilisé le test de Wilcoxon sur deux variables couplées. Ce test révéla l'absence de différence significative ($p < 0,01$) entre les analyses d'une même bouteille (intra-échantillon). Cependant la variation entre deux bouteilles (inter) est apparu différente significativement ($p < 0,01$).

Nous sommes donc rassuré sur la valeur des résultats provenant de l'analyse du laboratoire. La variation observée dans une bouteille est acceptable et normale dans le domaine de la microbiologie (Collins et Patricia, 1984). Cependant on doit faire attention lors de l'interprétation des résultats entre deux bouteilles. Dans ce cas, les différences peuvent être attribuables principalement à l'hétérogénéité du B.t. dans la rivière. Si l'on désire étudier de façon très précise les variations de concentrations du B.t. dans l'eau de confluents, il faudra augmenter le nombre d'échantillons. Toutefois, le but de l'étude était de quantifier l'insecticide dérivant par voie hydrographique à l'extérieur des aires traitées.

TABLEAU 2: Variations des concentrations intra et inter-échantillon

Concentrations (U.F.C. X 10^4/l)			Variation dans la 2e bouteille (%) (1) -INTRA-	Variation entre la 1e et la 2e bouteille (%)(2) -INTER-
1e bouteille	2e bouteille			
	A	B		
46,0	7,4	7,6	3	83
50,0	54,0	53,0	2	7
12,0	14,0	15,0	7	17
8,6	10,0	9,0	10	9
7,6	6,3	6,6	4	15
5,7	3,8	2,6	32	44
5,5	2,8	3,6	22	42
6,8	5,2	4,8	8	26
109,0	63,0	44,0	30	51
49,0	29,0	26,0	10	44
50,0	41,0	44,0	7	15
13,0	9,6	11,0	13	21
11,0	10,0	7,1	29	22
9,4	8,1	7,0	14	20
7,6	5,9	7,0	16	15
6,2	4,3	3,9	9	34

(1) différence entre A et B divisée par le maximum et multiplié par 100.

(2) moyenne de A + B, soutraite de la concentration de la 1e bouteille, divisée par le maximum et multipliée par 100.

5.2 Variations temporelles dans l'eau des rivières

Les figures 1.1 à 1.9 (Annexe 1) présentent pour chaque rivière, les concentrations détectées dans les échantillons, le pourcentage de la superficie traitée ainsi que l'éloignement de celle-ci par rapport à la station. Ces figures contiennent les informations de base résumées aux figures 10, 11 et 12. Les résultats seront donc présentés en considérant l'ensemble des échantillons et non en décrivant les variations observées à chaque rivière selon les traitements effectués sur leur bassin versant.

Des concentrations de B.t. variant de 150 à 860 U.F.C./l ont été retrouvées dans huit des neuf échantillons récoltés avant le début des pulvérisations. En 1984, une partie du bassin versant de ces rivières était incluse à l'intérieur des superficies traitées biologiquement contre la T.B.E. C'est ce qui explique les concentrations détectées. Cette persistance du B.t. une année après les pulvérisations a aussi été observée par Dugal et al, (1985) et Delisle et al, (1986). Par ailleurs, une présence de B.t. inférieure à la limite de détection (< 100 U.F.C./l) a été détectée dans l'échantillon d'une rivière dont le bassin versant était situé à l'extérieur des aires traitées en 1984.

Après le début des pulvérisations, les concentrations maximales détectées dans chaque rivière ont varié de 18×10^4 à 250×10^4 U.F.C./l (Tableau 3). Ces valeurs ont été observées à la suite de pulvérisations couvrant au minimum 5% de la superficie du bassin versant et effectuées jusqu'à 42 km de la station de récolte. À l'exception du maximum de la rivière Causapscal détecté 5,7

TABLEAU 3: Concentrations de B.t. détectées dans l'eau avant (pré) et après (maximales) les pulvérisations en 1985.

Rivière	Concentrations (U.F.C. X 10^4/l)		Description des pulvérisations		
	PRE	MAX	Délai (jours)	Distance p/r bloc (km)	% de la superficie traitée(1)
Assemetquagan	0,036	73,0	0,7	20	8,0
Causapscal	0,016	44,0	5,7	18	8,4
Darmouth	0,035	61,0	0,7	20	5,0
Matapédia	0,027	23,0	0,3	22	9,9
Milnikek	0,086	250,0	0,3	12	47,0
Montmorency	0,048	50,0	1,3	18	10,4
Ouelle	0,015	109,0	0,3	12	19,7
Rimouski	0,056	18,0	0,3	17	6,0
St-Jean	N.D.(2)	30,0	0,5	42	5,8

(1) Pourcentage de la superficie traitée par rapport à la superficie du bassin versant.

(2) N.D. = non-détecté (< 100 U.F.C./l)

jours après une pulvérisation, ces concentrations correspondent à des traitements effectués à l'intérieur d'un délai de 1,3 jour. L'échantillon contenant la plus forte concentration, soit 250 X 10^4 U.F.C./l a été récolté dans la rivière Milnikek. Durant les heures précédant l'échantillonnage de cette rivière, 14 sorties d'avion ont été réalisées couvrant ainsi 47% de la superficie du bassin versant. La distance minimale par voie hydrographique entre l'aire traitée et la station était de 12 km. De plus, un dosage plus élevé a été appliqué sur une superficie d'environ 2 500 ha. Tous ces facteurs et l'importance de ces traitements pourraient expliquer cette concentration inhabituelle.

La figure 10 regroupe l'ensemble des concentrations et leur délai de prélèvement respectif. Après chaque augmentation des concentrations à nos stations, un nouveau délai a été précisé pour chaque échantillon à partir de la dernière pulvérisation (jour 0). Selon cette figure, seulement 10% des échantillons ont des valeurs supérieures à 10 X 10^4 U.F.C./l. À l'exception d'un échantillon récolté dans la rivière Causapscal, ces concentrations ont été observées dans un délai de 2,3 jours après une pulvérisation. Par la suite, les concentrations de B.t. diminuent rapidement. Huit jours après le traitement, elles se situent en deça de 5 X 10^4 U.F.C./l. Après 15 jours, elles sont inférieures à 1 X 10^4 U.F.C./l à l'exception d'une seule concentration de 3,1 X 10^4 U.F.C./l. Quatre mois après les opérations, les concentrations varient de non détectées (N.D. [1]) à 0,13 X 10^4 U.F.C./l. Ces valeurs sont comparables à celles retrouvées avant le début des pulvérisations et représentent moins de 0,00001% des maximums atteints dans chaque rivière. Notons que la concentra-

([1]) N.D. = < 100 U.F.C./l

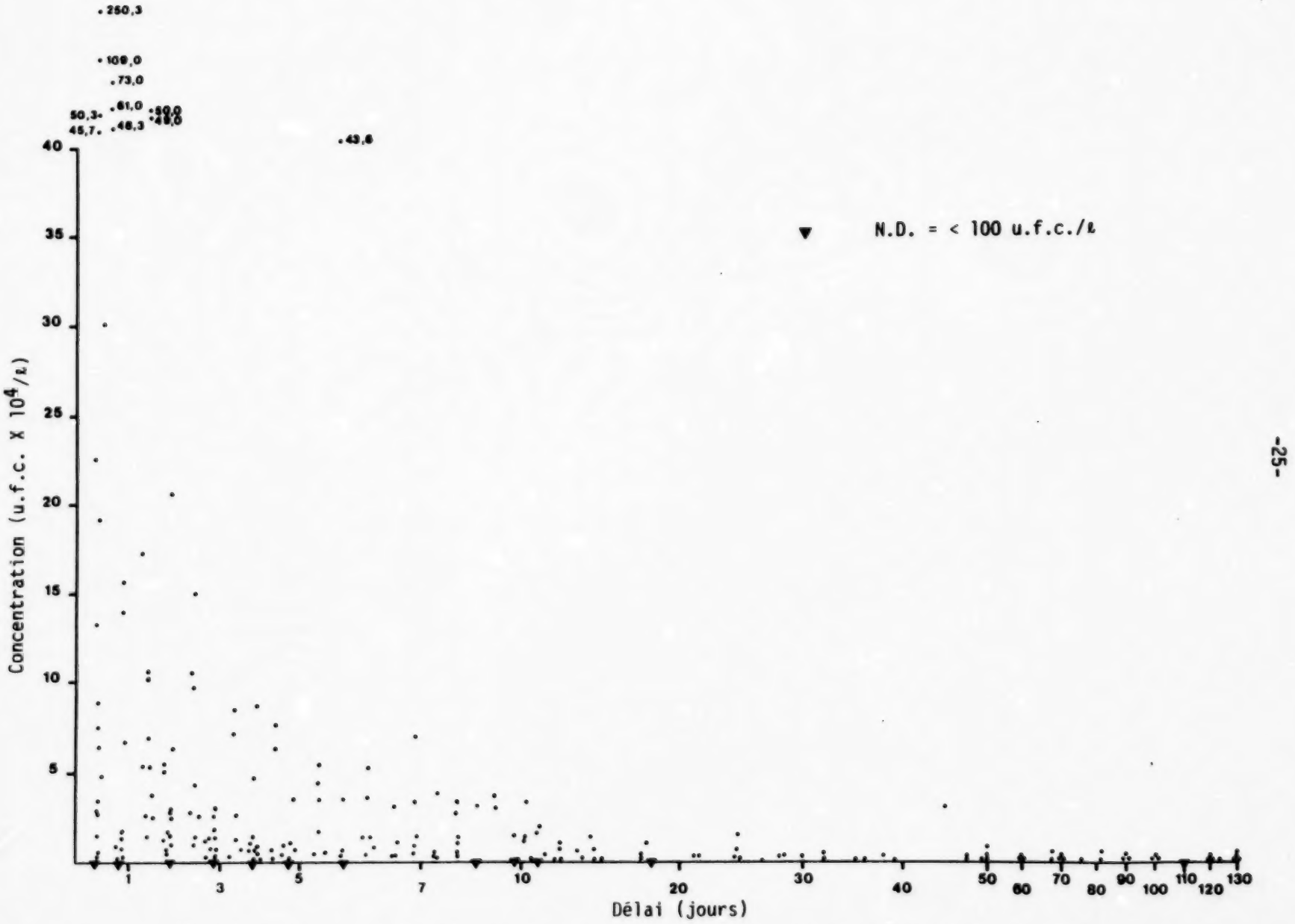

Figure 10: Concentrations de B.t. observées dans les rivières en fonction des délais d'échantillonnage

tion de 3,1 X 10^4 U.F.C./l, citée précédemment, a été détectée après un délai de 43 jours. Une deuxième bouteille prélevée au même moment a été analysée et a confirmé la même concentration. Cette faible augmentation pourrait provenir d'un lessivage du sol forestier suite à des averses abondantes.

Les concentrations maximales observées à l'intérieur d'un délai de 2,3 jours, suite à une ou plusieurs pulvérisations sur le bassin versant des rivières échantillonnées, ont été regroupées aux figures 11 et 12. Ceci afin de vérifier les relations entre les maximums détectées, la superficie traitée et son éloignement de la station. D'après la figure 11, il semble qu'indépendamment de la distance, les traitements effectués sur moins de 3% de la superficie du bassin versant ont peu influencé les concentrations. Toutes sont inférieures à 5 X 10^4 U.F.C./l. Suite à des traitements sur plus de 3% de la superficie du bassin, 80% des échantillons ont révélé des concentrations supérieures à 5 X 10^4 U.F.C./l. Les valeurs maximales, soit 109 X 10^4 et 250 X 10^4 U.F.C./l ont été observées respectivement après des pulvérisations sur 20 et 47% de la superficie du bassin hydrographique. D'après ces résultats, les fortes concentrations sont plus fréquemment observées lorsque les traitements sont abondants sur le bassin versant.

Dans l'ensemble et indépendamment de la distance entre les traitements et la station de récolte, les pulvérisations effectuées à l'aide d'avions monomoteurs ont peu d'influence sur les concentrations (Figure 12). Notons qu'en général les superficies traitées avec des monomoteurs sont plus petites que celles avec des quadrimoteurs. La majorité des concentrations détectées sont faibles suite aux traitements effectués avec des monomoteurs. Lorsqu'elles

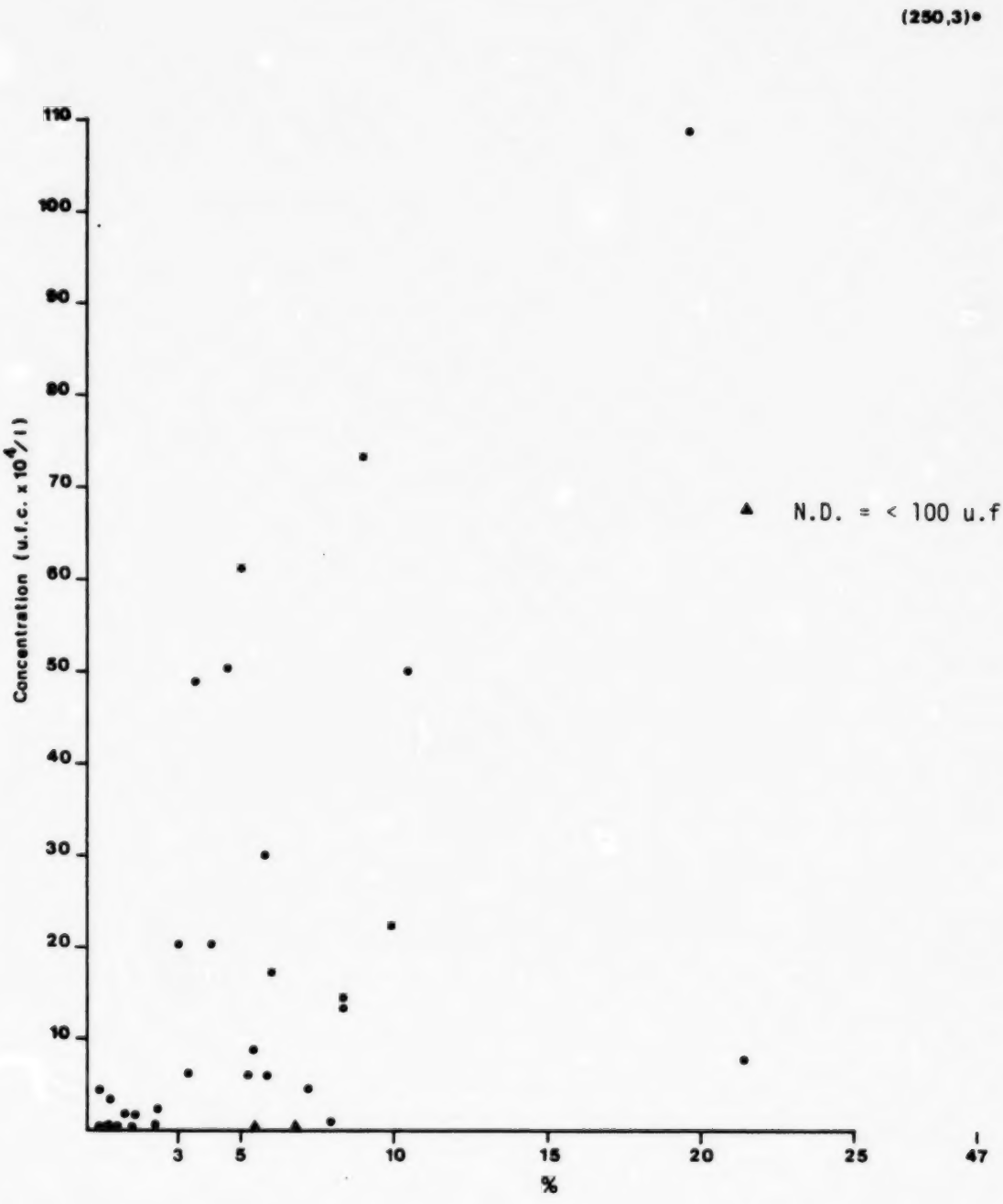

Figure 11: Pics de B.t. observés en fonction du pourcentage de la superficie traitée

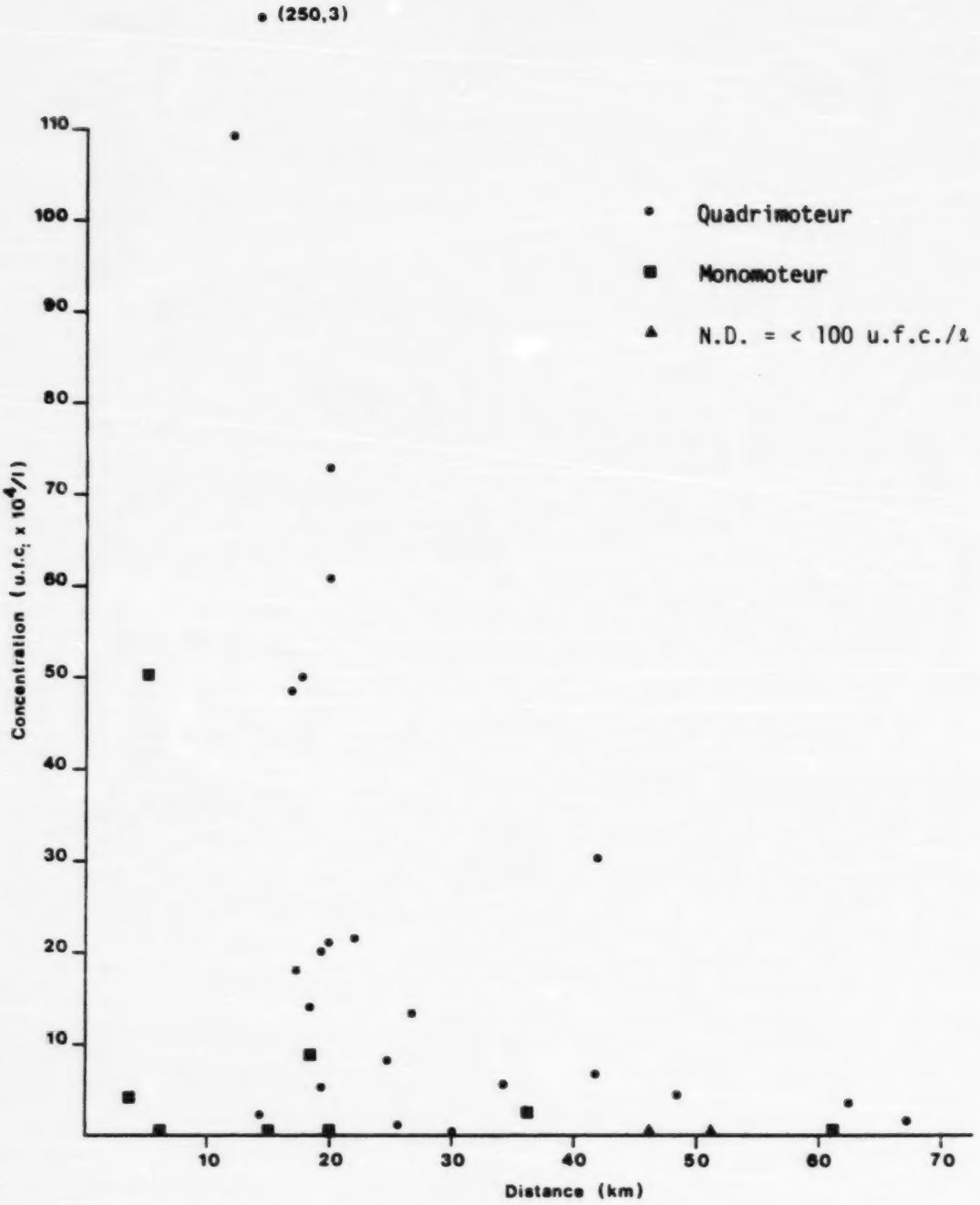

Figure 12: Pics de B.t. observés en fonction de la distance entre les superficies traitées et les stations d'échantillonnage

sont élevées, elles pourraient être en partie imputables à des traitements réalisés précédemment au moyen d'avions quadrimoteurs. Ainsi dans la rivière Ouelle (Figure 1.7), une concentration de 50,3 X 10^4 U.F.C./l a été détectée après une pulvérisation effectuée avec des avions monomoteurs. Le jour précédent, dans cette rivière, l'échantillon contenait 49,0 X 10^4 U.F.C./l suite aux traitements réalisés avec des quadrimoteurs. De la même façon, dans la rivière Milnikek (Figure 1.5), après le traitement par des monomoteurs, une concentration de 8,5 X 10^4 U.F.C./l a été retracée. La journée précédente, une concentration de 21,0 X 10^4 U.F.C./l a été détectée dans l'échantillon. Les concentrations après les traitements à l'aide d'avions monomoteurs peuvent donc être plus élevées en raison de l'addition des quantités déjà présentes dans la rivière.

Un second paramètre, soit la distance entre la superficie traitée et la station de récolte, semble influencer les concentrations (Figure 12). Suite aux traitements à l'aide d'avions quadrimoteurs effectués à moins de 30 km de la station de récolte, 75% des échantillons ont des concentrations supérieures à 10 X 10^4 U.F.C./l. À l'exception d'un échantillon, les concentrations sont inférieures à 10 X 10^4 U.F.C./l lorsque les traitements sont effectués à des distances supérieures à 30 km de la station. Notons également que toutes les concentrations supérieures à 40 X 10^4 U.F.C./l sont observées suite à des traitements réalisés à des distances inférieures à 20 km de la station. Les concentrations élevées sont donc plus fréquemment observées suite à des pulvérisations effectuées à proximité de la station d'échantillonnage.

ANNEXE 1

Figures illustrant la variation des concentrations de B.t. dans l'eau

et les traitements réalisés en 1985 sur le bassin versant de chaque rivière

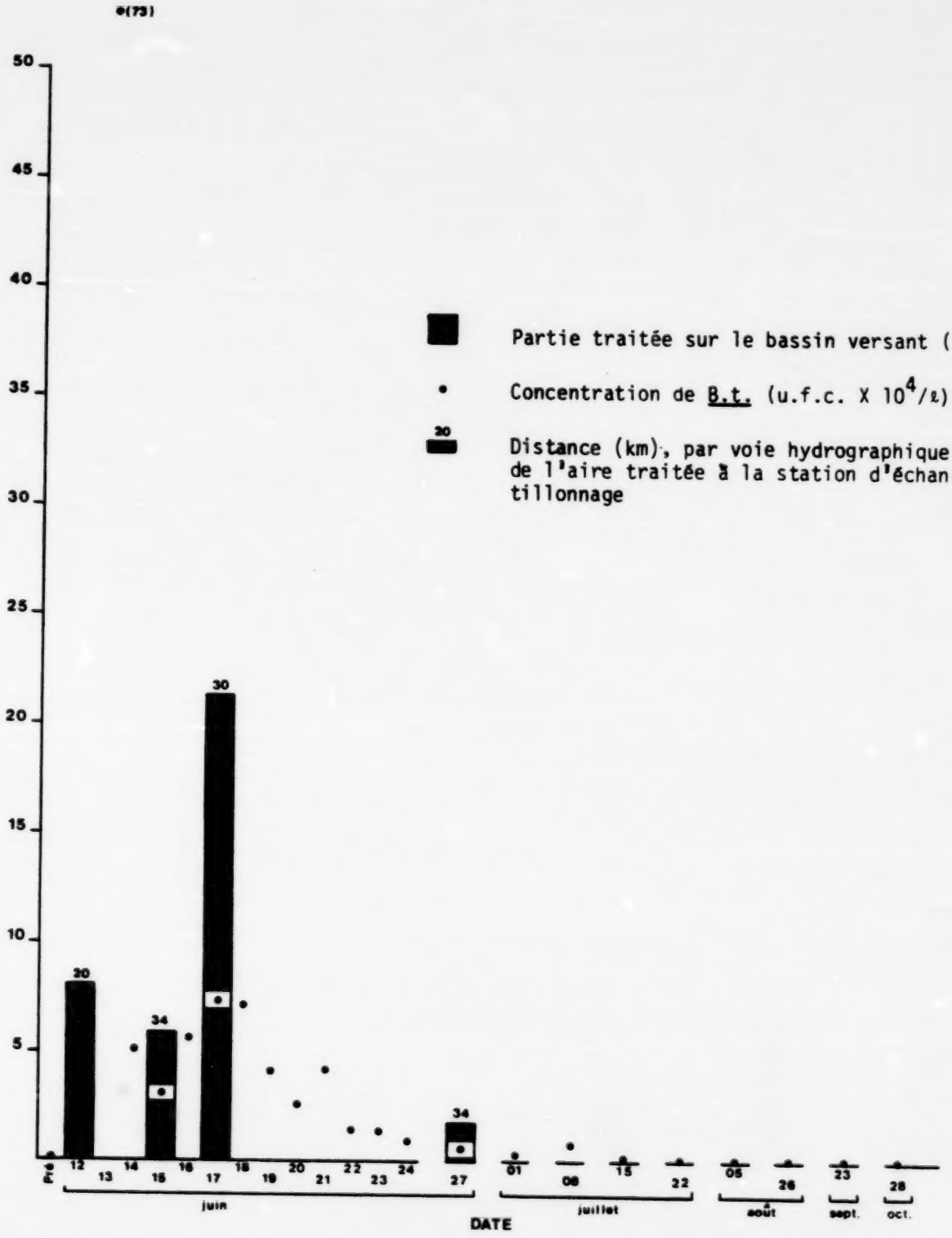

Figure 1.1: Variation des concentrations de B.t. dans l'eau et traitements réalisés en 1985 sur le bassin versant de la rivière Assemetquagan

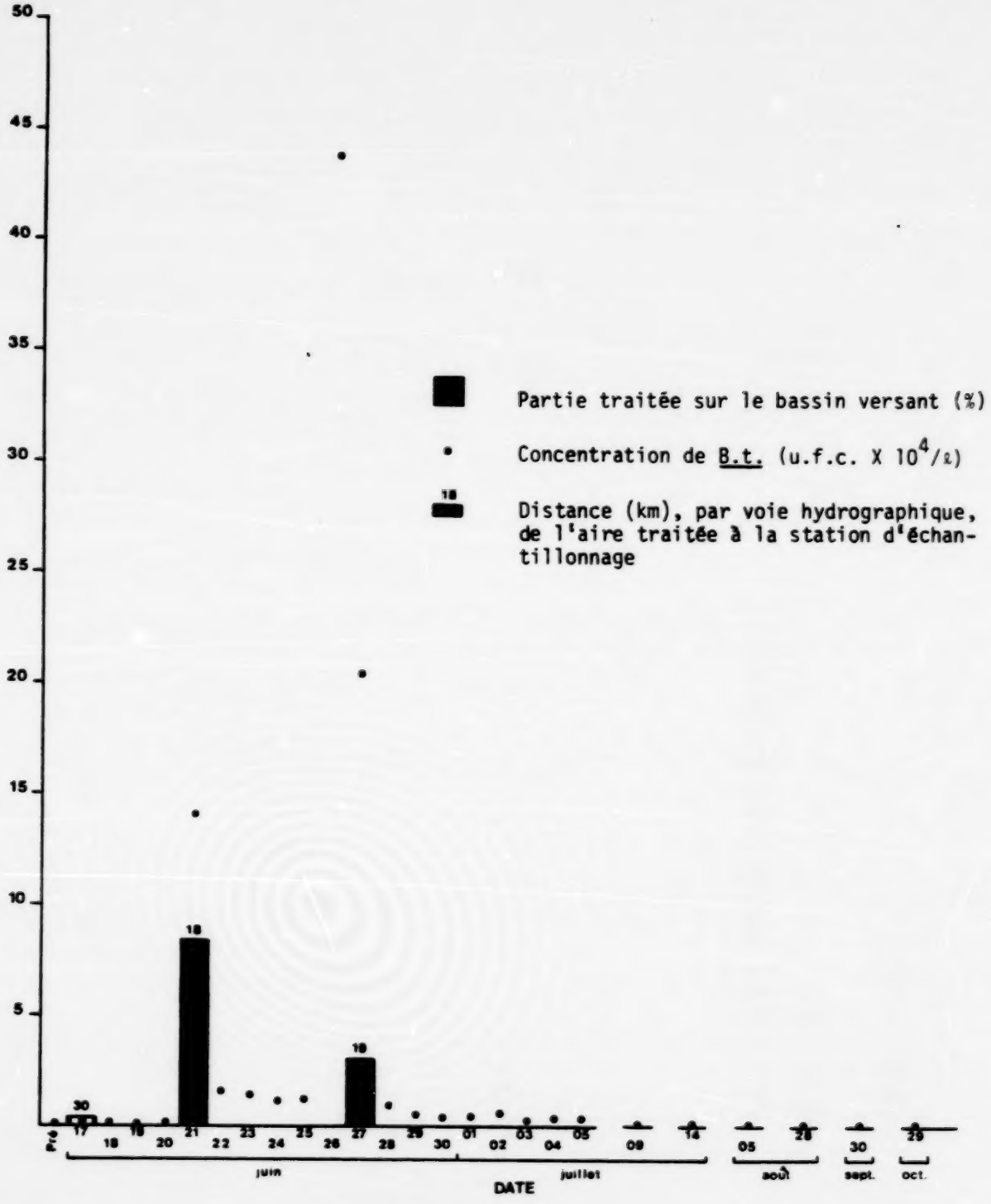

Figure 1.2: Variation des concentrations de B.t. dans l'eau et traitements réalisés en 1985 sur le bassin versant de la rivière Causapscal

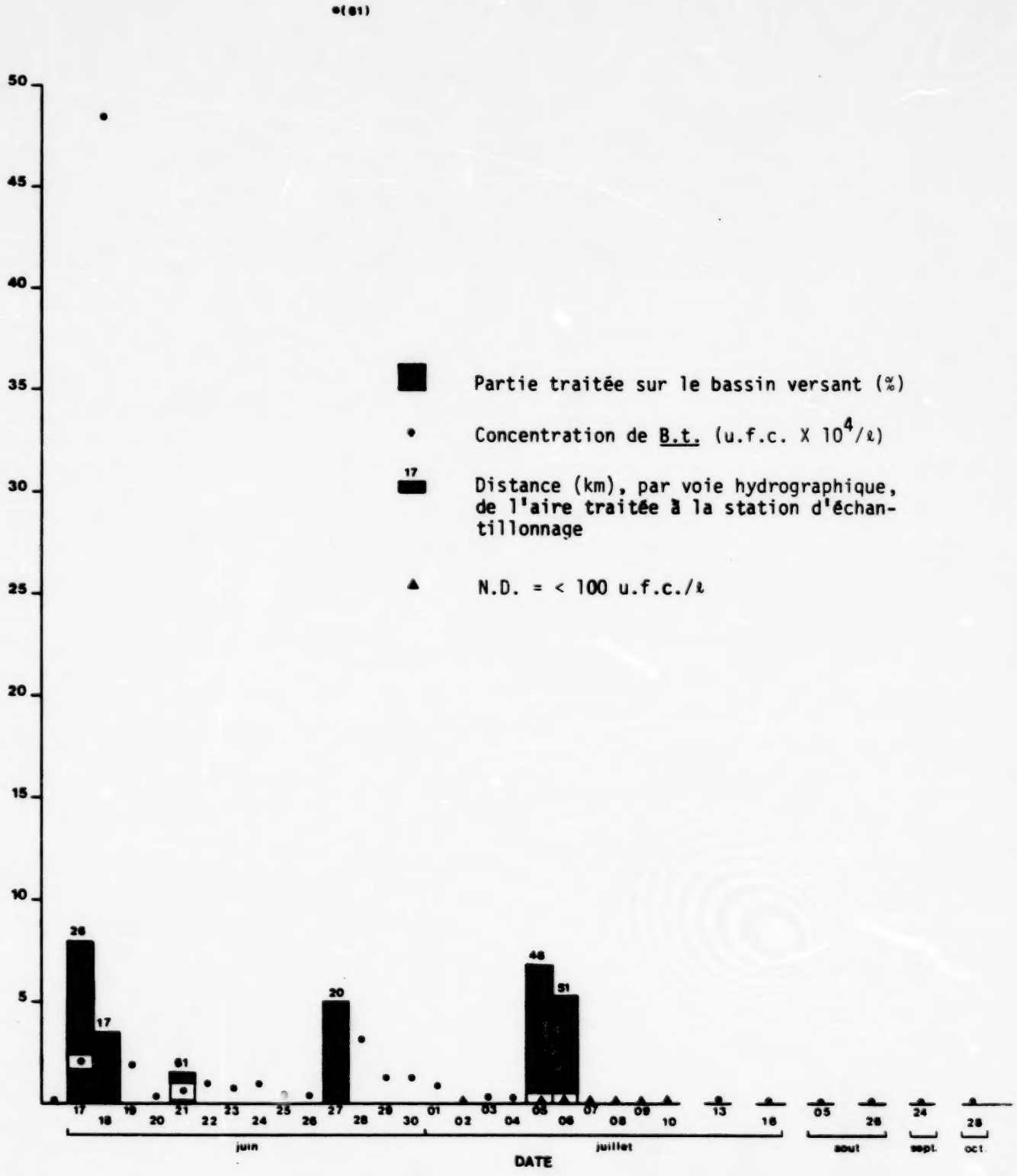

Figure 1.3: Variation des concentrations de B.t. dans l'eau et traitements réalisés en 1985 sur le bassin versant de la rivière Darmouth

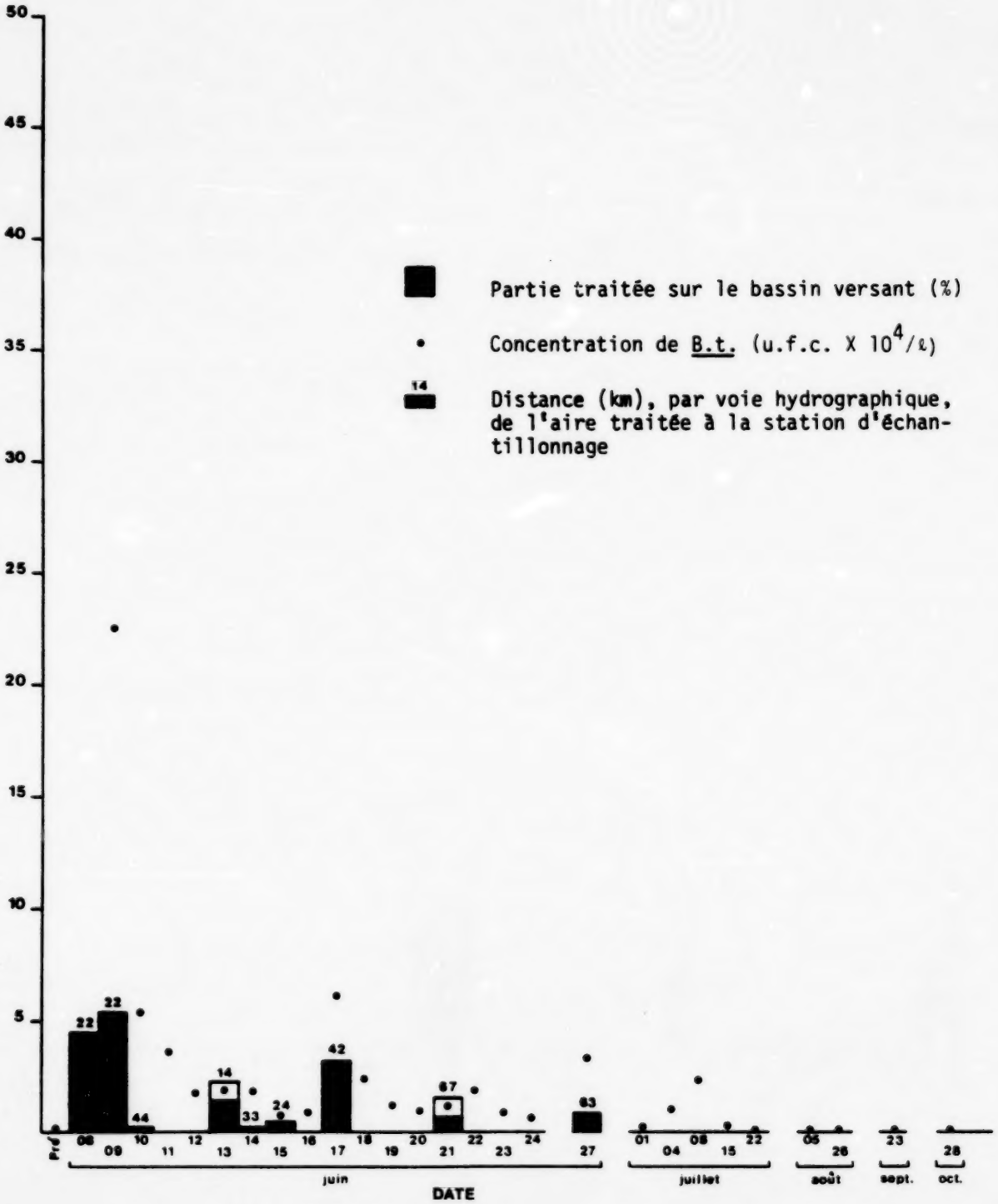

Figure 1.4: Variation des concentrations de B.t. dans l'eau et traitements réalisés en 1985 sur le bassin versant de la rivière Matapédia

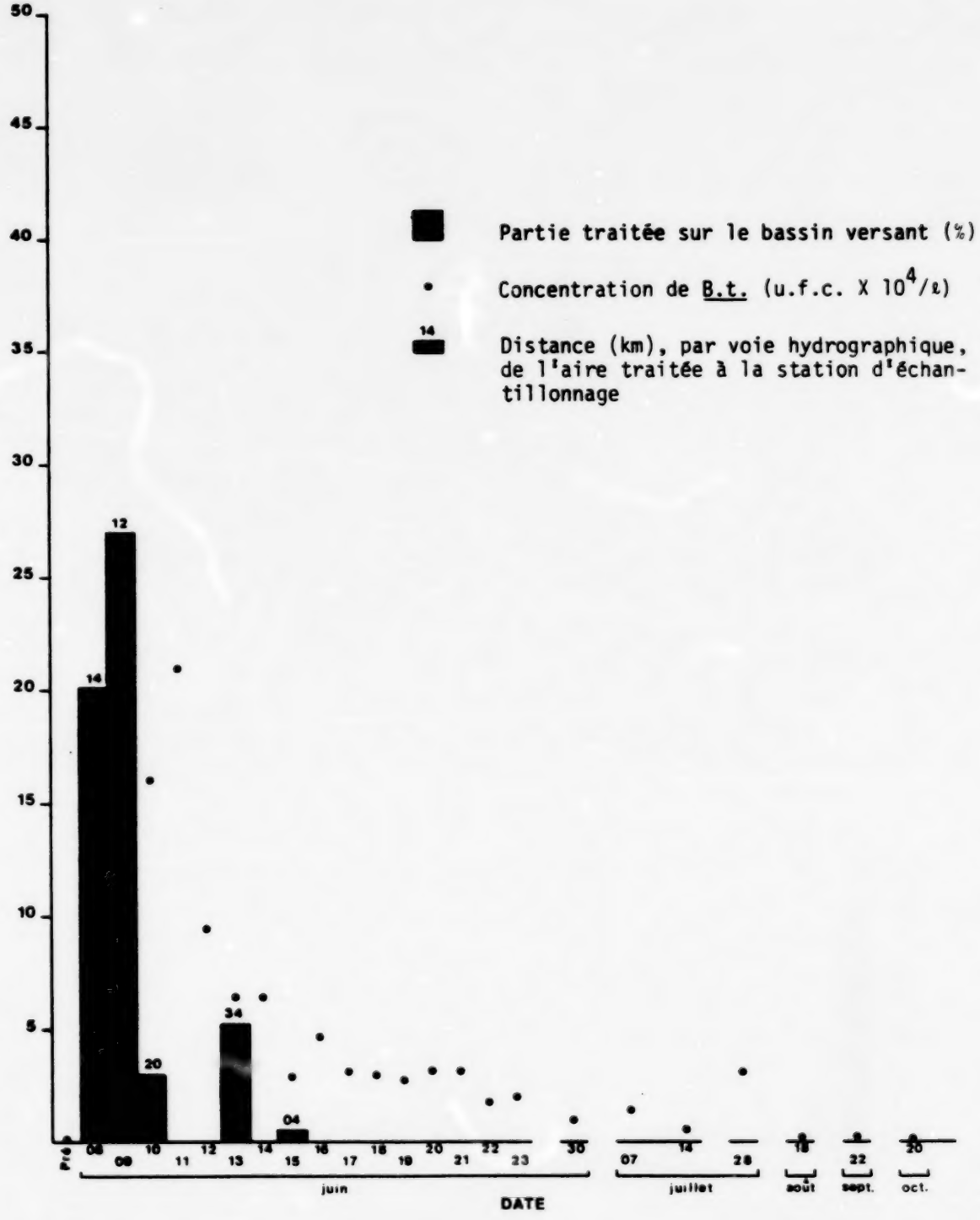

Figure 1.5: Variation des concentrations de B.t. dans l'eau et traitements réalisés en 1985 sur le bassin versant de la rivière Milnikek

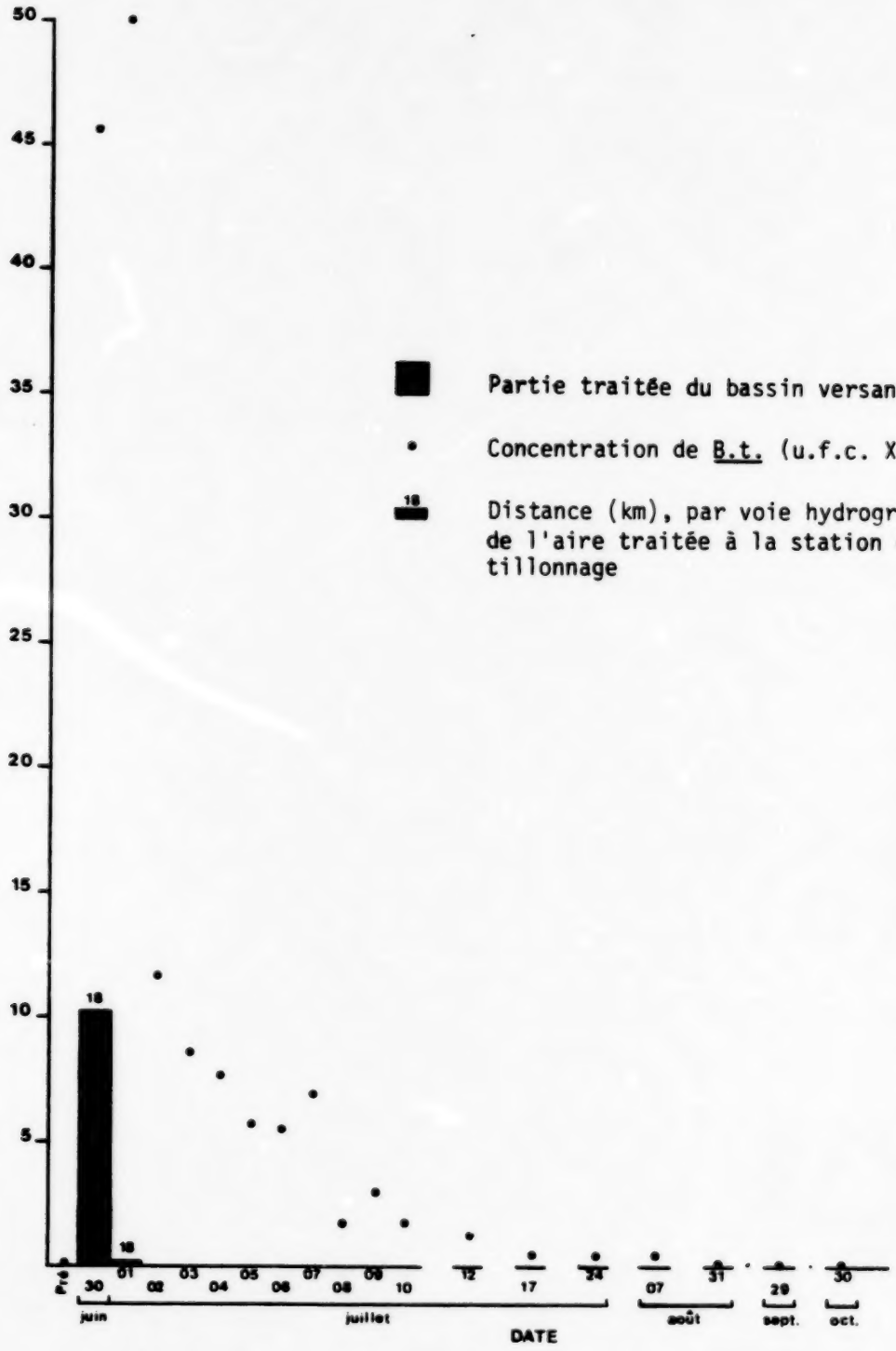

Figure 1.6: Variation des concentrations de B.t. dans l'eau et traitements réalisés en 1985 sur le bassin versant de la rivière Montmorency

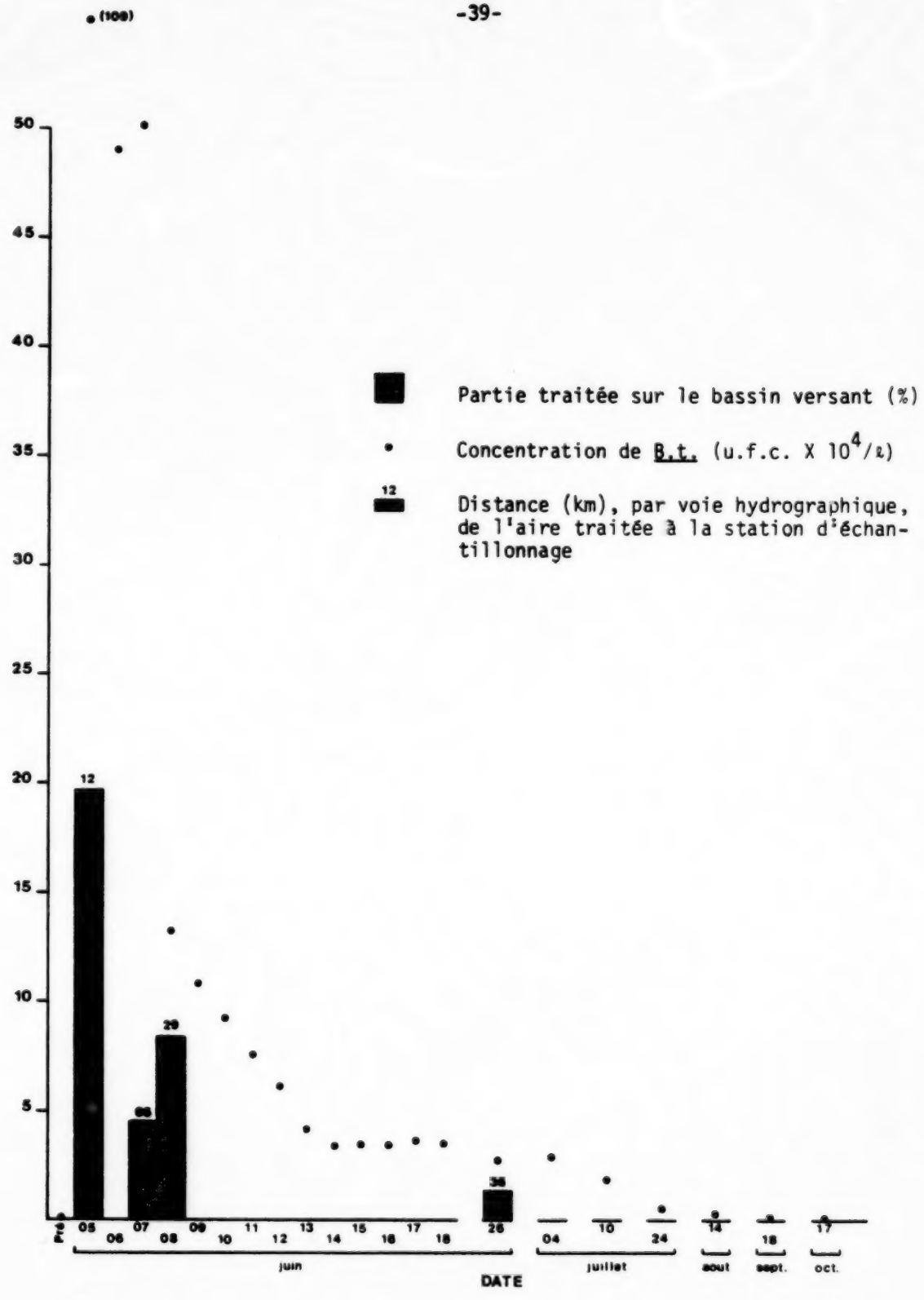

Figure 1.7: Variation des concentrations de B.t. dans l'eau et traitements réalisés en 1985 sur le bassin versant de la rivière Ouelle

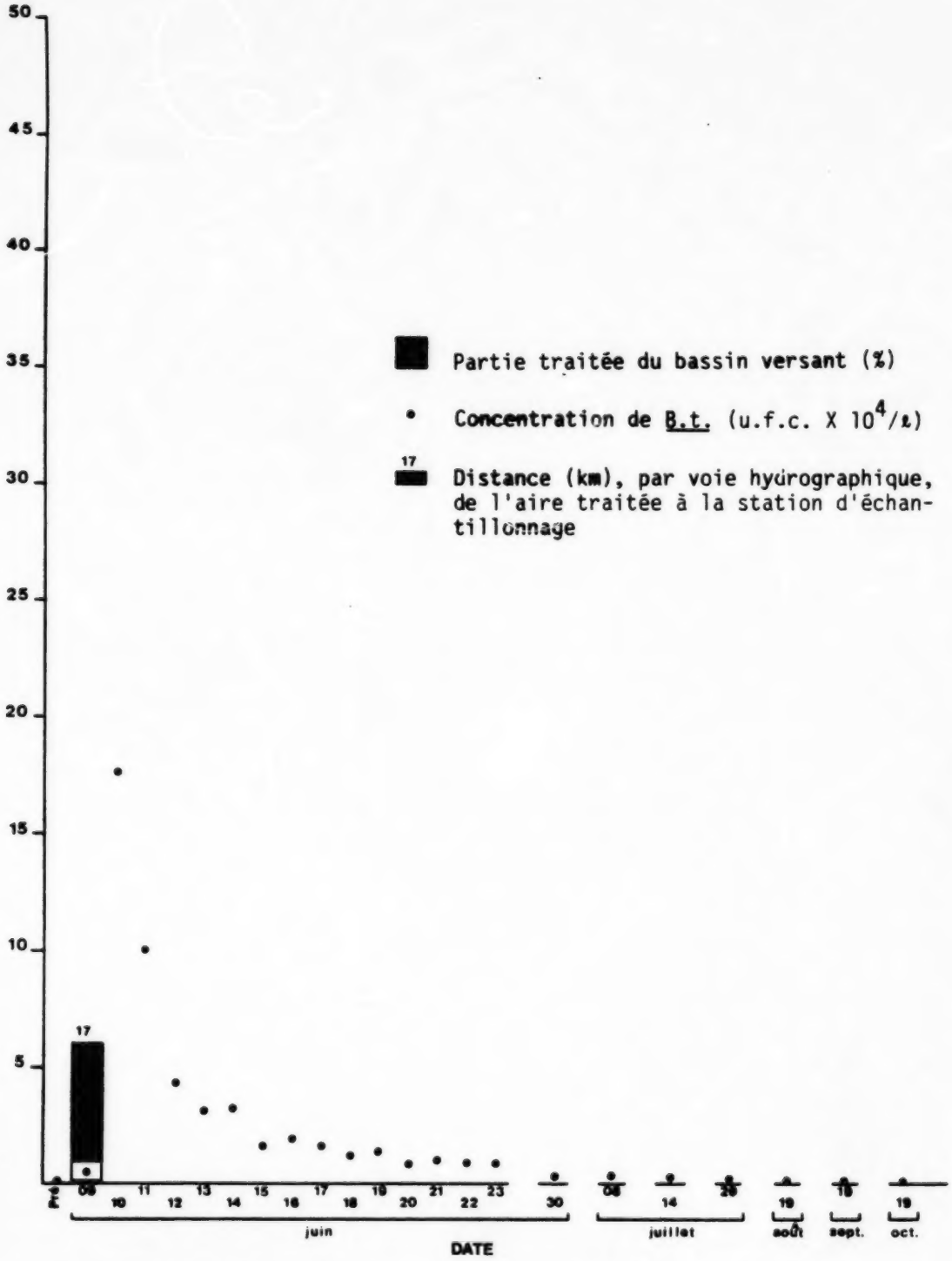

Figure 1.8: Variation des concentrations de B.t. dans l'eau et traitements réalisés en 1985 sur le bassin versant de la rivière Rimouski

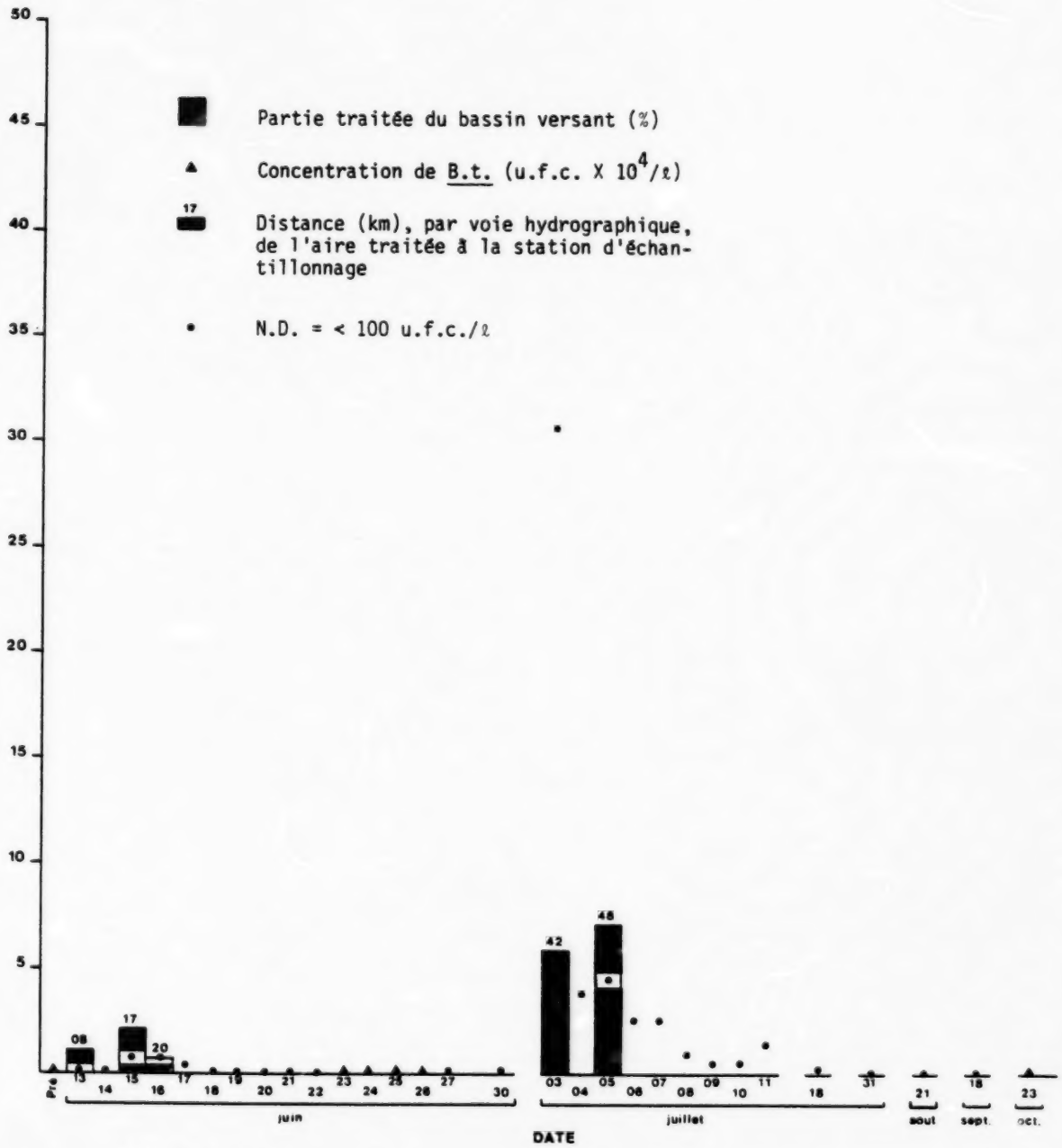

Figure 1.9: Variation des concentrations de B.t. dans l'eau et traitements réalisés en 1985 sur le bassin versant de la rivière St-Jean

BIBLIOGRAPHIE

Cardinal, P., Cahier des méthodologies analytiques pour le Bacillus thuringiensis, Québec, Gouvernement du Québec, Ministère de l'Energie et des Ressources, Service des études environnementales, 1986, 29 p.

Collins, C.H. et L.M. Patricia, Counting micro-organisms dans Microbiological Methods, Butteworths 5e ed., 1984, pp. 128-130.

Delisle, S., R. Dostie et P.M. Marotte, Comportement du Bacillus thuringiensis en milieu lotique à l'intérieur des aires traitées, Québec, Gouvernement du Québec, Ministère de l'Energie et des Ressources, Service des études environnementales, 1986, 15 p.

Dugal, J., L. Major, P. Cardinal et S. Delisle, Etude de la persistance des insecticides biologiques dans les eaux naturelles en milieu forestier, Québec, Gouvernement du Québec, Ministère de l'Energie et des Ressources, Service d'Entomologie et de pathologie, 1985, 29 p.